

基于河道-湿地-缓冲带复合指标的 京郊河溪生态评价体系

高 阳, 高甲荣*, 李付杰, 冯泽深

(北京林业大学, 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘要:河溪是陆地水环境的基本组成单位, 对人类的生产和生活产生着重要的影响。河溪近自然生态评价是以自然状态河段为本底值, 对人为活动或自然条件突变所造成的退化河溪生态系统的结构和功能作整体健康评判。基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系以野外大量调查数据为基础, 按照科学性、目标性、系统性、独立性、可操作性的原则, 从生态、地貌、水文特征方面挑选相互匹配的 22 个定量指标和 13 个定性指标, 将评价过程分为定性评价和定量评价, 综合考虑两者的长处以避免评价结果过于主观。并由于该评价是基于多指标和多点调查得到的, 评价的结果容易受到采样中随机性的影响, 存在模糊性和概率性, 因此, 采用模糊概率评价的方法, 构建该评价体系。并综合考虑一个平衡河溪水生生态系统的特点以及水环境特有的地形地质和群落状况等因素的差异, 可以将河溪的近自然程度分为以下 4 个等级: I 自然状态; II 河溪受到轻微人类活动的侵扰(近自然状态); III 河溪受到剧烈人类活动的侵扰(退化自然状态); IV 完全人工化, 并在 4 个等级之间划分出 3 个过渡带, 以表明河溪生态系统的动态转化过程。最后利用该评价体系对位于怀柔区二级水源保护区内的怀九河进行了分段近自然生态评价, 以避免某调查点数值突变对整个河溪评价结果造成影响。

关键词:河溪; 近自然生态评价; 河道-湿地-缓冲带指标; 水生生态系统

文章编号: 1000-0933(2008)10-5149-12 中图分类号: Q148, X321 文献标识码: A

Assessing the ecological conditions of stream ecosystems in the suburb of Beijing using a Channel-Wetland-Riparian Index

GAO Yang, GAO Jia-Rong*, LI Fu-Jie, FENG Ze-Shen

The Key Laboratory of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5149 ~ 5160.

Abstract: Stream is the basic component unit of terrestrial water environment and their ecological conditions are important for sustainable functions in natural systems. For the development of a sustainable river system the ecological conditions were investigated along Huaijiuhe River near Beijing, which is part of the water conservation district of Huairou Reservoir. For the ecological assessment a Channel-Wetland-Riparian Index (CWRI) were applied. The index compares the natural conditions of the investigated stream to be reference sites, and evaluates the near-natural degree of structure and functions of degraded stream ecosystems which is disturbed by human activities or sudden natural changes. CWRI is based on twenty-two quantitative indicators and thirteen qualitative indicators including ecological, hydrological and geographical aspects. The

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(8062022); 国家自然科学基金资助项目(40771128)

收稿日期:2007-06-22; **修订日期:**2008-04-09

作者简介:高阳(1982~), 女, 辽宁鞍山人, 博士生, 主要从事河溪生态恢复研究。E-mail: gy154112@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaronggao@sohu.com

致谢:感谢北京水务局段淑怀高工和怀柔水务局水土保持监测站魏志刚站长为本研究提供的部分资料。

Foundation item: The project was financially supported by Natural Science Foundation of Beijing (No. 8062022), the National Natural Science Foundation of China (No. 40771128)

Received date: 2007-06-22; **Accepted date:** 2008-04-09

Biography: GAO Yang, Ph. D. candidate, mainly engaged in the rehabilitation of stream ecosystem. E-mail: gy154112@163.com

majority of quantitative indicators are represented by ratios in order to avoid the problems with the variety of stream ecosystem. The near-natural degrees of stream ecosystems can be classified into four grades: (I) natural grade (no human disturbance); (II) near-natural grade (minimal artificial disturbance); (III) semi-degraded grade (serious artificial disturbance); (IV) complete degraded by human activities. Investigations were carried out at seventeen reaches to have a maximum number of replicates. The assessment results are easily affected by the random of field investigations, existing fuzziness and probability, therefore, taking the fuzzy probability assessment method to construct this assessment system.

Key Words: stream; near-natural assessment; channel-wetland-riparian index (CWRI); aquatic ecosystem

河溪(stream)是人类活动最密集的地方,其组成部分包括河道、湿地、河岸缓冲带以及所有陆地受影响的地区。作为陆地水环境中的最基本组成单位,河溪是指流域面积较小($10\text{ km}^2 \leq \text{流域面积} \leq 100\text{ km}^2$),一般隶属河流一、二级支流的小型水体(small water body)^[1~5]。而河溪近自然生态评价是以自然状态河段为本底值,对人为活动或自然条件突变所造成的受干扰河溪生态系统的结构和功能作整体健康评判^[6~11]。在北京,由众多河溪构成的潮白河等五大水系共占市区面积的近四分之三,且目前北京水环境治理项目多以河溪为单位。而基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系以野外大量调查数据为基础,以自然状态河溪为本底值,对人为活动或自然条件突变所造成的退化河溪生态系统的结构和功能作整体评判,并以北京怀九河为例进行近自然生态评价,明确怀九河的近自然度,以期北京河溪水资源的有效管理和受损河溪生态系统的修复提供科学的指导和参考依据。

1 评价等级的确立

一个平衡的河溪生态系统,应具有良好的生物多样性、复杂的食物链结构、封闭的物质循环以及良好对抗外界干扰能力等特点,并综合考虑其环境特有的地形地质和群落状况等因素的差异,可以将河溪生态系统的近自然程度分为以下4个等级^[11,12,16,17]:

(1)自然状态 河流保持自然流动、分叉,河床和河道中有较大差异的水深,同样下切的自然状态也没有受到任何的干扰,河床的形态也是多种多样的,生长在河床的植物根系和河岸植被能够为鱼类的生存提供良好的生境条件。河岸被自然植物覆盖,有与生境相适应的灌木、草本和乔木群落。有自然的静水、湿地和河漫滩。

(2)近自然状态 农业利用已经影响到部分河道。有一个近自然的岸坡形态,也有足够的生境条件为草本、灌木和乔木层创造良好的生活空间,其与自然状态十分相似。河道拥有规则的几何断面形态,坡面比较稳定,岸边有小型的滑塌,因此采用了一些生物治理措施。河溪的平面形态大体上与其源头是一样的,人类的治理措施没有影响到河溪的走势,没有对河道产生巨大的影响,河底是完全自然的,水的径流形式也是多种多样的,现存的工程治理措施也是十分粗糙的,对水生生物的洄游没有负面的影响,尤其对于鱼类。原则上存在足够密集、接近原生的河岸植被带。

(3)退化自然状态 有明显人工改造的痕迹,各种人工治理工程已经占到优势地位,河道上很多横断面结构和形态已经完全相同,但不全是钢筋混凝土构成。河岸的宽度一致,但其组成还是自然物质,人工整治措施使河道的水深一致。固底工程、跌水和各种堰都是由光滑材料构成的(混凝土),其已经阻碍了有机体的洄游,但存在一些较小的平滑的跌水,鱼群生活的空间已经很小,但也可能出现水深较深的地方。交用地以及农业用地已经到达河岸。灌木、乔木十分稀疏,大多为单一的形态。河溪的平面形态多为直线,几乎没有迂回。

(4)人工化状态 河道多数为直线型,完全经过人工的改造,有强烈的人工改造的痕迹,河道断面全部是由钢筋混凝土、浆砌石或沥青组成。水深相同,流速相同,一般情况没有灌木、乔木等植被,河道几乎完全人工化、没有任何生态性的工程措施(挡墙、管道),最终形成了涵道。

并在4个等级之间划分出3个过渡带,以表明河溪生态系统的动态转化过程。

2 评价指标

2.1 指标的选取

评价体系的每一个单项指标,都要求能够从不同侧面来反映河溪生态系统的自然程度,按照以下原则:

①科学性 指标概念必须明确,能够度量和反映河溪生态系统所处的近自然程度。

②目标性 河溪近自然生态评价指标要能为相关的河溪管理决策部门在对河溪进行开发、利用、施工时提供科学的指导。

③系统性 河溪生态系统作为一个整体,指标的选取要尽可能完整、全面、系统地反映被评价河溪生态系统的特征。

④独立性 消除重复指标,利用相关性检验减少指标的冗余。

⑤操作性 指标选择既要具有实用性,又要易于捕捉数据,以便大范围的传播、推广。

从生态、地貌、水文特征方面挑选相互对应、互补的定量、定性共 35 个指标来构建三层次结构的评价指标体系,分别为目标层 A、准则层 B 和指标层 C^[31~34]。

2.2 指标的权重

在对基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系的结构和组成因子深入理解以及对现有调查数据的认真分析的基础上,拟采用专家-层次分析法,按照:①明确问题,建立层次结构;②运用专家打分法构造判断矩阵;③层次单排序;④层次总排序;⑤一致性检验 5 个步骤,确定准则层和目标层的权重(如表 1 所示)。

2.2 指标的计算及调查方法

(1)地貌特征 每 100m 设置一个调查点,调查者涉水到河溪中泓线处,用测绳系上重物测量水深;用皮尺和测绳测量水宽、河宽;岸坡坡度的测量借助于罗盘仪;水体与河床接触情况的调查是在河滨浅水区设置一个 1m×1m 的样方,采用蛇形布点法,设置 50 个样点,利用探针测定;弯曲度的获得则是室内在评价河溪的 Autocad 图上,利用 list 命令计算其实际长度和直线长度得到的;河床底质多样性的调查是采用经典的 Wolman 法和 Zig-zag 法,利用组成丰富度(Diversity Sorting Coefficient)、Shannon-Wiener 多样性指数和细小颗粒所占比例(% Fine materials)来表示^[23,24];最后,纪录每个评价河段内的人造水利工程措施个数,以反映河溪水系的连续性。

(2)生态特征 每 100m 设置一个调查点,调查者用皮尺测量从水边到最近土地利用方式间植被带的宽度即为缓冲带宽度;用卷尺测量有遮蔽的水面宽度;同时,纪录每个调查点乔灌木 3 层是否缺失及其生长状态以反映缓冲带结构的完整性;植被多样性的是每 300m 设置一个调查点,在评价河段两侧设置一个 5m×5m 的乔灌木样方,然后在其对角线上设置 3 个 1m×1m 的草本样方,纪录植物的种类、盖度等特征数据以便计算出物种丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数;底栖大型无脊椎动物多样性的调查也每 300m 设置一个调查点,利用直径为 0.5m 的 kick 网逆着水流方向定量采集 10m,通过查阅相关资料,基本鉴定到科、属,然后现场用滤纸吸干动物身上的水分,测量其湿重,以便得到以下变量:群落的物种数(S)、丰富度(D)、Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')和均匀度指数(J');最后,纪录每个评价河段内≥10m 植被缺口的数目,以反映河岸缓冲带的连续性。

(3)水文特征 用北京中西仪器出品的 BD80 系列野外便携式试剂盒(图 1)pH 值、溶解氧、总氮、磷酸盐等水质指标;用经典的浮标法测定流速;用红色的酒精温度计测定水温;用改进彩盘法(advanced colorful plate)测定河水的清澈程度(图 1),其测量方法是将彩盘投入水中,静止在 0.1m 深度,然后俯身至离水面 1m 的位置去辨认反映不同近自然等级的色条和色块^[17,18]。

3 评价方法

河溪的近自然生态评价是以处于自然状态的河溪

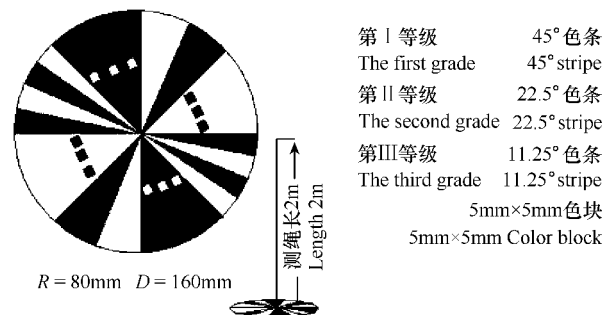


图 1 改进彩盘法示意图

Fig. 1 The introduction about advanced colorful plate

表 1 基于河溪-湿地-缓冲带复合指标的北京河溪近自然生态评价指标权重

Table 1 The weights of indicators of the stream-wetland-riparian index (SWRI) for assessing the near-natural degree of small watershed ecosystems in the suburb of Beijing

目标层 A Target hierarchy	准则层 B Principle hierarchy	权重 B_w Weight	指标层 C Indicator hierarchy	权重 C_w Weight
定量评价 A1 Quantitative assessment 权重为 0.5Weight	地貌特征 B1-1 Topographical characters	0.3119	水体与河床接触情况 C1-1 The number of contacting points between water and stream channel bed	0.054
			弯曲度 C1-2Curve degree	0.1965
			水深 C1-3Water depth	0.09
			水宽 C1-4Water width	0.11
			河宽 C1-5Stream channel width	0.06
			水宽与河宽比 C1-6 The ratio between average water width and stream channel width	0.1961
			河床底质组成多样性 C1-7The variety of stream channel substrate	0.122
			岸坡坡度 C1-8Slope degree	0.1386
			人造水利工程措施的个数 C1-9 The amount of artificial hydraulic engineering	0.0319
	生态特征 B1-2 Ecological characters	0.4905	缓冲带植被宽 C1-10 Riparian zone width	0.3156
			缓冲带植物多样性 C1-11 The riparian vegetation variety	0.124
			缓冲带结构完整性 C1-12 The integrality of riparian structure	0.2448
			河岸带通达性 C1-13The number of larger than 10m vegetative disruption representing streamside assessing ability	0.0586
			有遮蔽水面占水宽比 C1-14The ratio between shadow water width and water width	0.0927
			底栖动物多样性 C1-15The variety of large-scale benthic invertebrate	0.1642
	水文特征 B1-3 Hydrological characters	0.1976	流速 C1-16Velocity	0.0856
			水温 C1-17Water temperature	0.07
			清澈度 C1-18Limpidity degree	0.2671
			酸碱值 C1-19PH value	0.14
			溶解氧 DO C1-20Dissolved oxygen (DO)	0.144
			总氨氮 C1-21Total ammonia nitrogen (NH ₃ -N)	0.1444
			磷酸盐 C1-22Phosphate (TP)	0.1444
定性评价 A2 Qualitative assessment 权重为 0.5Weight	地貌特征 B2-1 Topographical characters	0.2395	平面形态 C2-23Plane shape	0.3172
			横剖面形态 C2-24Transverse profile shape	0.1667
			河床的动态变化 C2-25Channel flow status	0.0689
			河床材料透水性 C2-26The permeable ability of stream channel bed	0.1745
			两岸土地利用方式 C2-27The utilization kinds of surrounding land	0.0844
			岸坡结构 C2-28The construction types of bank slope	0.1025
			岸坡侵蚀程度 The erosion degree of bank slope	0.0858
	生态特征 B2-2 Ecological characters	0.6232	岸坡植被覆盖 C2-30 The vegetative protection situation of bank slope	0.75
			底栖生物生境条件 C2-31 The habitat conditions for benthonic organisms	0.25
	水文特征 B2-3 Hydrological characters	0.1373	气味 C2-32odor	0.4824
			流速多样性 C2-33The variety of velocity	0.1575
			清澈程度 C2-34Limpidity degree	0.2718
			流水的声音 C2-35The variety of flowing sound	0.0883

为标准的,是一个相对概念,且该评价是基于多指标和多点调查得到的,评价的结果容易受到采样中随机性的影响,存在模糊性和概率性,因此,采用模糊概率评价的方法,计算评价指标隶属不同近自然等级的隶属度来构建基于河溪-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系^[31,35]。

3.1 定性评价

定性指标的处理以河段为单位,首先是统计该河段调查样本数目为 L 个,然后统计不同近自然等级的样点的个数 $L_{i,j}$ 。

①隶属度计算

$$L_{i,j} = C_{i,k} \subseteq S_{i,j} \quad (j=1,2,3,4) (k=1,2,\dots,L) \quad (1)$$

式中, $S_{i,j}$ 为河溪近自然等级, $C_{i,k}$ 为属于不同等级的样本, $L_{i,j}$ 为处于不同等级间的调查样本数目。则评价指标 i 的调查样本位于不同河溪近自然等级的概率,即定性指标的隶属度为:

$$r_{i,j} = P_{i,j} = L_{i,j}/L \quad (i=1,2,\dots,14) (j=1,2,3,4) \quad (2)$$

②作一级综合评价

$$B_y = W_y^\circ \times \begin{pmatrix} r_{1,1} & \cdots & r_{1,j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m,1} & \cdots & r_{m,j} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} (y=1,2,3,4) & j=1,2,3,4) \\ (m \text{ 为准则层第 } y \text{ 个特征包含的指标个数}) \end{matrix} \quad (3)$$

式中, B_y 为准则层特征要素的相对不同河溪近自然等级的相对隶属度矩阵, W_y 为准则层第 y 个特征所包含评价指标的权矩阵。

③作二级综合评价

$$A = W^\circ \times \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_y \end{bmatrix} \quad (y=4) \quad (4)$$

其中, A 为被评价河段的定性指标总体隶属于不同近自然等级的隶属度, W 为准则层特征要素的权矩阵。最后按照最大隶属度原则,判定被评价河段所处的近自然等级。其不同近自然等级的隶属度乘以不同近自然等级的赋值的结果即为评价河段的定性自然度(qualitative naturalness)(表2)。

3.2 定量评价

定量指标处理以河段为单位,基本以每 5 个调查点为一个单位河段,首先在定量评价指标选择指标 n ,其调查样本数目为 L 个,然后计算定量指标在评价河段的平均值 $M_{n,j}$ 。

(1)计算平均值

$$M_{n,j} = \frac{[\sum_{k=L} C_{n,k}]}{L} \quad (5)$$

式中, $C_{n,k}$ 是指标 i 介于调查样本中的第 k 个数值。而 $M_{n,j}$ 属于不同河溪近自然等级的隶属度 $r_{n,j}$ 可由下列公式推出。

(2)隶属度计算

①正向指标(指标值越大,近自然程度越高)

i 当 $M_{n,j} > S_{n,1}$ 时, $r_{n,1} = 1, r_{n,2} = r_{n,3} = r_{n,4} = 0$

ii 当 $S_{n,j} \geq M_{n,j} \geq S_{n,j+1}$ 时, $r_{n,j+1} = \frac{S_{n,j} - M_{n,j}}{S_{n,j} - S_{n,j+1}}, r_{n,j} = 1 - r_{n,j+1}; (j=1,2,3)$ (6)

表2 河溪近自然等级赋值

Table 2 The scores of different near-natural degrees of small watershed assessment system

近自然等级 Near-natural degrees	赋值 Value
自然状态 Natural degree	4
近自然状态 Near-natural degree	3
退化自然状态 Degraded degree	2
人工状态 Artificial degree	1

iii 当 $M_{n,j} < S_{n,4}$ $r_{n,4} = 1, r_{n,1} = r_{n,2} = r_{n,3} = 0$

②负向指标(指标值越大,近自然程度越低)

i 当 $M_{n,j} < S_{n,1}$ 时, $r_{n,1} = 1, r_{n,2} = r_{n,3} = r_{n,4} = 0$

ii 当 $S_{n,j} \leq M_{n,j} \leq S_{n,j+1}$ 时, $r_{n,j+1} = \frac{S_{n,j} - M_{n,j}}{S_{n,j+1} - S_{n,j}}, r_{n,j} = 1 - r_{n,j+1}; (j=1, 2, 3)$ (7)

iii 当 $M_{n,j} > S_{n,4}$ $r_{n,4} = 1, r_{n,1} = r_{n,2} = r_{n,3} = 0$

(3)后面的评价过程与定性评价相一致,也要作一级和二级评价,其最后得到的矩阵为被评价河段的定量指标总体隶属于不同近自然等级的隶属度,同样按照最大隶属度原则,判定被评价河段所处的近自然等级,最后通过赋值得出被评价河段的定量自然度(quantitative naturalness)。

而如果同一河段定性和定量评价的结果不一致,则判定该河段处于定性、定量评价近自然等级间的过渡带中。

4 评价标准的确定

4.1 参考点的选取

通过 2006 对 8 条预选河溪上 18 个河段的初步调查及查阅相关资料,最后选定位于京郊密云、怀柔、延庆 6 个生态条件良好、处于相对自然或近自然状态河段的在 2007 年 8 月进行详细调查以便得出基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系评价标准的本底值,如表 3 和图 2 所示。

表 3 参考河段概况

Table 3 The detailed information about final chosen reference sites

区县 Country	河溪 Stream	河段 Reach	流域面积 Watershed area (km ²)	地理坐标 Geography location
密云	安达木河	花园 Huayuan	12.53	N40°38'52.5", E117°29'51.8"
Miyun	Andamuhe River	曹家路 Caojialu	22.57	N40°38'59.26", E117°24'02.8"
怀柔	天河	宝山寺 Baoshansi	32.00	N40°69'67.78", E116°56'01.34"
Huairou	Tianhe River	四窝铺 Siwopu	28.24	N40°83'05.66", E116°46'94.97"
延庆	菜食河	西沟里 Xigouli	14.97	N40°51'16.45", E116°35'43.12"
Yanqing	Caishihe River	珍珠泉 Zhenzhuquan	23.75	N40°50'80.56", E116°42'86.42"

4.2 定性评价标准

定性评价指标通过对特定状态下河溪生态系统的描述,确定其所处的近自然状况,具有普遍性和通用性,可以适合大范围的河溪生态评价。目前国际上通用的评价体系指标如 RIVPACS、AUSRIVAS、ISC、IRC、AQEM 多采取定性评价的方式以满足不同地区的需要,实现不同评价体系结果的通用^[12~34]。基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系在借鉴不同评价体系标准的基础上,参考北京郊区河溪地质地貌、生态、水文特征,确定了其定性评价标准(附表 1)^[13~24]。

4.3 定量评价标准

基于 6 个参考河段的定性近自然生态评价,密云安达木河花园河溪和延庆菜食河西沟里、珍珠泉河溪处于自然状态,而密云安达木河曹家路河溪和怀柔天河宝山寺、四道窝铺河溪处于近自然状态(表 4)。以此为基础,并参考相关国内外评价体系标准以及咨询相关专家,确定了基于河溪-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系的定量评价标准(其结果见附表 2)^[18,20,24,25]。

5 怀九河近自然生态评价

怀九河流经北京市怀柔区的西南端的怀九、怀沙野生动物保护区,处于怀柔水库二级保护区内,是该水库重要的入库河流。研究河段始于位于怀九河中游的黄花城水库,途经 11 个村庄后注入怀柔水库,全长 27541.7m。2005、2006 和 2007 年 7 至 8 月的野外调查中,按照每 150m 布一个基本调查点,如遇到河溪情况

突变,则加测一点的原则,共布设调查点 197 个;在后期评价中,以每 10 个基本调查点为一个评价河段,其中包括加测点的方法进行,以防止某点评价指标的突变,对整个河溪近自然生态评价结果造成影响。

5.1 评价结果

基于河道-湿地-缓冲带复合指标的京郊河溪近自然生态评价体系,得出怀九河近自然定性评价结果为退化自然状态(隶属度 0.5637),定量评价结果也为退化自然状态(隶属度 0.3112),因此其总体上属于退化自然状态。

5.2 结果分析

由图 3 可知,怀九河总体受到了比较严重的人为干扰,已经找不到自然状态的河段,只有峪口村下游的第 14 河段,处于生态旅游的目的,生态环境保护较好,处于近自然状态;6 个河段处于近自然状态与退化自然状态之间的过渡带 2,约占总体的 30%:位于花木村与团

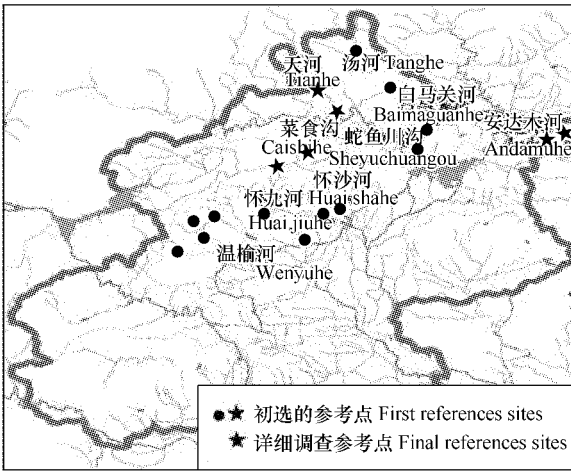


图 2 北京河溪近自然生态评价本底值的参考点分布
Fig. 2 The distribution of reference sites of the environmental background values of the near - natural assessment about small watershed ecosystems in Beijing

表 4 参考河段定性近自然生态评价隶属度
Table 4 Degrees of membership of qualitative assessment of different reference small watersheds

河溪 Small water shed	近自然等级 Near-natural degrees	隶属度 Membership	河溪 Small water shed	近自然等级 Near-natural degrees	隶属度 Membership
花园 Huayuan	自然状态 Natural degree	0.669663	曹家路 Caojialu	自然状态 Natural degree	0.262952
	近自然状态 Near-natural degree	0.277962		近自然状态 Near-natural degree	0.587267
	退化自然状态 Degraded degree	0.022375		退化自然状态 Degraded degree	0.132922
	人工状态 Artificial degree	0.03		人工状态 Artificial degree	0.01686
宝山寺 Baoshansi	自然状态 Natural degree	0.157016	四道窝铺 Sidaowopu	自然状态 Natural degree	0.359177
	近自然状态 Near-natural degree	0.524769		近自然状态 Near-natural degree	0.535424
	退化自然状态 Degraded degree	0.293737		退化自然状态 Degraded degree	0.055871
	人工状态 Artificial degree	0.024479		人工状态 Artificial degree	0.078567
西沟里 Xigouli	自然状态 Natural degree	0.965073	珍珠泉 Zhenzhuquan	自然状态 Natural degree	0.490435
	近自然状态 Near-natural degree	0.034927		近自然状态 Near-natural degree	0.307273
	退化自然状态 Degraded degree	0		退化自然状态 Degraded degree	0.202292
	人工状态 Artificial degree	0		人工状态 Artificial degree	0

泉村之间的第 4 河段,其生态、地貌特征近自然等级均不高,但由于该处河水才从地下涌出,经过地下砾石的过滤、净化,水质转好,处于自然状态,因而该点的近自然等级是位于该过渡带内,其他处于过渡带 2 的河段,例如第 8、15 河段等,由于远离村庄且地势比较险峻,而人为干扰不重;6 个河段处于退化自然状态,大约也占到了总体的三分之一,其主要是因为靠近村庄,人为干扰频繁、污染重;2 个河段处于退化自然状态与人工状态之间的过渡带 3;由于以往河流挖沙的影响,3 个河段处于人工状态,在这 3 个河段中,河床形态产生了剧烈变化,大部分河水成为地下潜流,但周围缓冲带经过自然恢复,近自然等级较高。

河溪近自然生态评价 3 个特征要素中,由于人工挖沙以及以往不恰当的工程治理方式,怀九河地貌特征要素所受破坏最为严重,超过 80% 的河段均处于退化自然状态和人工状态;生态特征要素也由于两岸村镇的快速发展,也受到了严重的干扰,只有不到 20% 的河段处于近自然状态和自然状态;怀九河的水文特征状况相对较好,但受到两岸村庄生活污水和水禽养殖的影响,仍有超过 70% 的河段处于退化自然状态和人工状态。综上,要提高怀九河整体所处的近自然等级,对怀九河所进行近自然生态治理重点应该放在恢复河道横

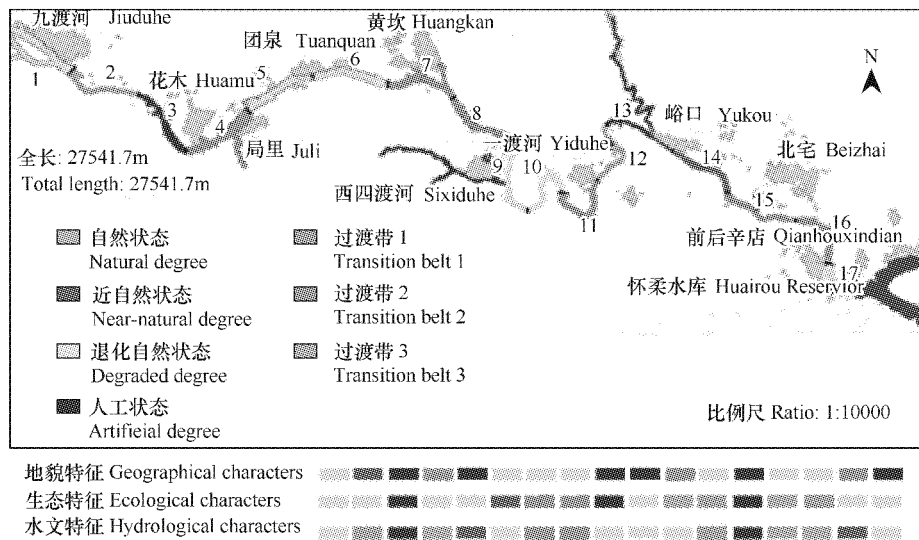


图3 怀九河河溪近自然等级分段示意图

Fig. 3 The segmented diagrammatic sketch about near-natural degrees of d different small watershed in Huaijiu River

断面、纵断面差异以及恢复河溪的连续性等方面,通过发展当地的旅游业来取代破坏河溪生态环境的水禽养殖业。

6 结论

(1) 河溪是汇集径流、产水、产沙的源头,是连接大江大河的纽带,把星罗棋布的河溪治理和管理好,就抓住了流域治理和管理的根本。本研究建立河溪近自然生态评价指标体系从生态、地貌、水文特征方面挑选相互匹配的 22 个定量指标和 13 个定性指标,并利用层次分析法确定指标权重。

(2) 弄清河溪生态系统所处的近自然状况等级是河溪生态治理的基础,分段评价,分段表示的方法既可以避免由于某段河溪生境的突变对整个河溪评价结果的客观性带来影响,又满足了目前河溪职能管理部门对河溪分段治理的需要,因此,对北京郊区水资源的管理、规划有一定的指导意义。

(3) 本底值的获取是建立一个评价体系的关键所在,本研究通过对北京 9 条河溪 22 个河段的调查,提取其特征因子值,初步建立北京京郊河溪近自然生态评价体系评价标准本底值数据库,确定了河溪近自然生态评价指标体系的评价标准,随着日后调查范围的扩大和调查内容的深入,该数据库将得以不断的完善、补充,评价标准也将更接近客观实际。

(4) 采用模糊概率评价的方法,把评价指标看成一个离散的随机变量,采用模糊逻辑推理进行综合评价,将概率统计与模糊数学有机地结合,构建了包括定量和定性指标的河溪近自然生态评价指标体系。

(5) 北京郊区河溪地貌特征因素的人为干扰最大,从怀九河近自然生态评价的结果可窥见一斑,因此对京郊河溪的生态整治重点应放在恢复河溪生态系统的自然风貌上,兼顾防灾与景观功能。

References:

- [1] Kenneth N. Brooks, Peter F. Ffolliott, Hans M. Gregersen, *et al.* Hydrology and the management of watersheds. USA: Inwa State Press, 2003.
- [2] Gao J R, Near Natural Control: Torrent Control Engineering Based on the Landscape Ecology. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 21 (1): 78—82.
- [3] Gao J R, Xiao B, Niu J Z. Model and Application of Near Natural Stream Control. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(6): 84—91.
- [4] Wu Z L, Zhen H, Liu H M, *et al.* A Study on Hierarchy of River and Small Stream in Xishuangbanna, China. *Journal of Yunnan University*, 2002, 16(6): 84—91.
- [5] Wu Z C. A study on watershed plan of small stream. *Hydraulic Power Journal*, 1985, 9(1): 34—40.
- [6] <Chinese natural geography> editor committee of Chinese Academy of Sciences. *Chinese natural geography-surface water*. Beijing: Chinese Science Press, 1981. 52—53.
- [7] Geography department of Nanjing University and Zhongshan University, General hydrology. Beijing: People's Education Press, 1978. 23—25.

- [8] Strahler A N. Dynamic basis of geomorphology. Geological Society of America Bulletin, 1952, 63: 923 — 938.
- [9] Karr J R. Defining and measuring river health. Fresh water Biol, 1999, 41: 221 — 234.
- [10] Tang T, Cai Q H, Liu J K. River ecosystem health and its assessment. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1191 — 1194.
- [11] Gao J R, Wang F, Zhu J P, Wang M. Assessment indexes of naturalness of stream ecosystem. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(5): 66 — 70.
- [12] Wen C, Gao Y, Gao J R, Chen Z S, *et al.* The comment on near natural stream control assessment system and techniques. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(Supp.): 39 — 44.
- [13] Wu A N, Yang K, Che Y, *et al.* Characterization of rivers health status and its assessment. Advances in Water Science, 2005, 16(4): 602 — 608.
- [14] Smith M J, Kay W R, Edward D H D, *et al.* AUSRIVAS: using macro invertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia. Freshwater Biology, 1999(41), 269 — 282.
- [15] Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T. Assessing the biology quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Ambleside: The Freshwater Biological Association, 2000, 1 — 24.
- [16] Chutter F M. Research on the rapid biological assessment of water quality impacts in streams and rivers. WRC Report No 422/ 1/ 98. 1998. Water Research Commission, Pretoria.
- [17] Metzeling L. Australia-Wide Assessment of River Health: Victorian Bioassessment Report (Final Report). Environment Australia, 2002. 31 — 37.
- [18] Anthony R L, Lindsay J W, Jane A D, *et al.* Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia. Freshwater Biology. 1999, 41: 453 — 468.
- [19] Christian K F, Daniel H. Community structure or function: effects of environmental stress on benthic macroinvertebrates at different spatial scales. Freshwater Biology. 2007.
- [20] Daniel H, Otto M, Leonard S, *et al.* Overview and application of the AQEM assessment system. Hydrobiologia, 2004. 516: 1 — 20.
- [21] Armin L, Daniel H, Christian K F. Peter Rolauff. A new method for assessing the impact of hydromorphological degradation on the macroinvertebrate fauna of five German stream types. Hydrobiologia, 2004. 516: 107 — 127.
- [22] Centre of Environmental Applied Hydrology (CEAH) and ID&A Pty. Ltd. An Index of Stream Condition: Reference Manual. Report prepared for the Waterway and Floodplain Unit of the Department of Natural Resources and Environment, 1997.
- [23] Brierley G J, Cohen T, Fryirs K, Brooks A. Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia; implications for river ecology. Freshwater Biology, 1999. 41: 839 — 848.
- [24] Assessing the ecological quality of rivers. <http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nst/Webpages/LBUN-4YG9G9>
- [25] Liu X Y, Zhang Y F. Essence and indicators of the healthy Yellow Rive. Shuili Xuebao. 2006, 37(6): 649 — 653
- [26] Geng L H, Liu H, Zhong H P, *et al.* Indicators and criteria for evaluation of healthy river. Shuili Xuebao, 2006, 37(3): 253 — 258.
- [27] Yin H J, Feng Y L. Studies on the River Ecosystem Health Assessment Method. China Rural Water and Hydropower, 2006, 4: 55 — 57.
- [28] Long D, Zhang S C. Study and evaluation on health of ecosystem of luanhe river basin. Soil and Water Conservation in China, 2006, (3): 13 — 16.
- [29] Zhao Y W, Yang Z F. Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health. Advances in Water Science, 2005, 16(3): 349 — 356.
- [30] Zhang Y, Zhen B H, Liu H L, *et al.* Indicators and evaluation of ecosystem health of typical rivers in Shenzhen City. Water Resources Protection, 2006, 22(5): 13 — 17.
- [31] Jin P, Chang Y H. The study on the measuring weights of assessment indicators by AHP. Agro-environmental Protection, 1996, 15(6): 254 — 256.
- [32] Zhou J F, Zeng G M, Huang G H. The ecological suitability evaluation on urban expansion land based on uncertainties. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(2): 774 — 784.
- [33] Zhou W H, Wang R S. An entropy weight approach on the fuzzy synthetic assessment of Beijing urban ecosystem health, China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3244 — 3252.
- [34] Zhang F L, Liu J L, Yang Z F. Ecosystem health assessment of urban rivers and lakes for six lakes in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 3019 — 3028.

参考文献:

- [2] 高甲荣. 近自然治理——以景观生态学为基础的治理工程. 北京林业大学学报, 1999, 21(1): 78 ~ 82.
- [3] 高甲荣, 肖斌, 牛建植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限. 水土保持学报, 2002, 16(6): 84 ~ 91.
- [4] 吴兆录, 郑寒, 刘宏茂, 高雷, 许又凯, 崔景云. 西双版纳河溪等级体系研究. 云南大学学报(自然科学版), 2001, 23(3): 231 ~ 23.
- [5] 伍正诚. 论中小河流的流域规划. 水力发电学报, 1985, 9(1): 34 ~ 40.
- [6] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 《中国自然地理·地表水》. 北京: 科学出版社, 1981.
- [7] 南京大学地理系、中山大学地理系. 《普通水文学》. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- [10] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1191 ~ 1194.
- [11] 高甲荣, 王芳, 朱继鹏, 王敏. 河溪生态系统自然性评价指标体系. 中国水土保持科学, 2006, 4(5): 66 ~ 70.
- [12] 温存, 高阳, 高甲荣, 陈子珊, 刘瑛. 河溪近自然治理技术及其评价方法. 中国水土保持科学, 2006. 4(Supp.): 39 ~ 44.
- [13] 吴阿娜, 杨凯, 车越等. 河流健康状况的表征及其评价. 水科学进展, 2005, 16(4): 602 ~ 608.
- [25] 刘晓燕, 张原峰. 健康黄河的内涵及其指标. 水利学报, 2006, 37(6): 649 ~ 653.
- [26] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 刘翠善. 健康河流的评价指标和评价标准. 水利学报, 2006, 37(3): 253 ~ 258.
- [27] 殷会娟, 冯耀龙. 河流生态环境健康评价方法研究. 中国农村水利水电, 2006, 4: 55 ~ 57.
- [28] 龙笛, 张思聪. 滦河流域生态系统健康评价研究. 中国水土保持, 2006, (3): 13 ~ 16.
- [29] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探. 水科学进展, 2005, 16(3): 349 ~ 356.
- [30] 张远, 郑丙辉, 刘鸿亮, 王西琴. 深圳典型河流生态系统健康指标及评价. 水资源保护, 2006, 22(5): 13 ~ 17.
- [31] 荆平, 常玉海. AHP 确定评价因子的权重方法探讨. 农业环境保护, 1996, 15(6): 254 ~ 256.
- [32] 周建飞, 曾光明, 黄国和, 等. 基于不确定性的城市扩展用地生态适宜性评价. 生态学报, 2007, 27(2): 774 ~ 784.
- [33] 周文华, 王如松. 基于嫡权的北京城市生态系统健康模糊综合评价. 生态学报, 2005, 25(12): 3244 ~ 3252.
- [34] 张凤玲, 刘静玲, 杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价——以北京市“六海”为例. 生态学报, 2005, 25(11): 3019 ~ 3028.

附表 1 定性评价标准
Appendix table 1 The standards of qualitative assessment

地貌特征 Topographical characters				
评价指标 Assessing indicator	自然状态 Natural degree	近自然状态 Near-natural degree	退化自然状态 Degraded natural degree	人工状态 Artificial degree
平面形态 Plane shape	河道蜿蜒曲折,多急弯、卡口,必然有天然的凸岸、凹岸、边滩、心滩,两岸和河心常有突出的巨石,河岸曲折不齐,宽度变化大	河道保持一定的弯曲度,有人工改造的痕迹,急弯、卡口大量消失,存在少量的边滩、心滩,河岸线仍有不规则性,有一定的宽度变化	河道趋向平直,有明显人工改造的痕迹,急弯、卡口、边滩、心滩完全消失,河岸线有一定变化,宽度趋向一致	河道平直,无弯度变化,急弯、卡口、边滩、心滩完全消失,河岸线平直,无凸岸、凹岸,宽度一致
横剖面形态 Transverse profile shape	河溪的横剖面形状多样,均表现为非规则断面,存在大量天然的浅滩、深潭,深潭与浅滩交错的布局经常出现	河溪的横剖面形态具有一定多样性,有少量规则的几何断面出现,但最原始的地貌没有改变,浅滩、深潭数量大大减少,但深潭与浅滩交错的布局不时出现	大量出现规则的几何断面,且占有大比重,河溪的横剖面形态变化很小,存在极少量的浅滩、深潭	河溪的横剖面均矩形、梯形以及弧形等几何断面,无浅滩、深潭
河床的动态变化 Channel flow status	河水充满整个河床,基本无河床底质暴露在外	河水充满 > 75% 的河床,季节性的只有不到 25% 的河床底质暴露在外	河水只能填满 25% ~ 75% 的河床,大部分的河床底质都暴露在外,由于长时间缺水,其上已经生长出茂盛的陆生植被	基本已无河水在河床上流动,大部分河水分散在河床上静止的小水潭中
河床材料的透水性 The permeability of stream channel bed	河床材料由透水性较强的卵石、砾石等材料构成,不同粒径卵石的天然组合,河床完全是自然的,与河床物质相接触的可能性未受到扰动	河床材料具有一定透水性,其颗粒大小和组成基本自然,河床与河底接触有少量人为干扰,如简单的铺设石块	河床材料透水性差,由于人为影响造成河底物质的单一,其颗粒大小和组成基本一致,与河底母质由于浆砌石等惰性材料的存在接触大大减少	河床材料无透水性,由钢筋混凝土、沥青、浆砌石、管道等光滑的惰性材料铺砌的河底平滑、单一、无形态差别,与河底母质接触的可能性为零
两岸土地利用方式 The utilization kinds of surrounding land	休憩用地,两岸的土地主要为林地(天然或人工)或山体,无生产、生活活动痕迹	农业用地(农田),两岸的土地主要为农田,特别是高杆的庄稼,靠近河边有部分林地存在	交通用地(道路),两岸距离河边最近的土地利用方式即为道路,道路存在侵占了河岸带的存在外围可有一定量农田,但无林地存在	建筑用地(民宅),两岸的土地主要为附近居民的住宅,并伴随有一定交通用地存在
岸坡的结构 The construction types of bank slope	天然植被护坡,河岸护坡由天然的植被和石块构成,无人为干扰痕迹,上游由于地处深山,相对陡峭,中下游地势相对较低,护坡的坡度也比较平缓	长草堆石护坡,存在人为干扰的痕迹,但自然恢复较好,堆石上已张满天然植被(草本);(自然恢复至少在 5 年以上)	堆石护坡,人为干扰痕迹明显,且还未得以恢复自然风貌,可能护坡上拥有一定量植被,但多数为人工种植,天然生长的植物量很少	浆砌石或干砌石护坡,护坡陡峭、平滑,基本无植物生存
岸坡的侵蚀程度 The erosion degree of bank slope	岸坡无明显侵蚀,由于天然植被的保护,河段的岸坡基本看不到明显的侵蚀	少量区域存在侵蚀,仅在零星地区由于人为活动的干扰,存在侵蚀现象,但较为微弱	中度侵蚀,由于人为活动的干扰,明显可以看到侵蚀现象,且较为严重	绝大部分地区存在侵蚀,由于人为活动的严重干扰,随处可以看到或轻或重的侵蚀现象
生态特征 Ecological characters				
岸坡植被覆盖情况 The vegetative protection situation of bank slope	超过 90% 的岸坡均被本土植物覆盖,包括乔木、灌木、草本和非木质的菌类,基本见不到因放牧或农业活动所造成的损伤,所有植物均处于自然生长状态	70% ~ 90% 的岸坡被本土植物覆盖,但没有优势种,存在少量损伤但不影响整个植被的生长,且会在短期内得以恢复,超过一半受损植物的残茬遗留在原地	30% ~ 70% 的岸坡被植物覆盖,损伤十分明显,随处可以看到因为放牧所造成的裸露斑块,大部分受损植物的残茬都被销毁	仅有不到 30% 的岸坡被植物覆盖,植被的破坏情况非常严重,所有受损植物的残茬均被销毁
底栖生物生境条件 The habitat conditions for benthonic organisms	超过 50% 的河床底质都适宜底栖动物生存,河床富集各种粗木质残体,如倾倒的树干、树枝、树叶等,且已经分解,底栖生物可以立即筑巢生活	30% ~ 50% 的河床底质适宜底栖生物生存,但空间也能满足当点底栖生物群落,河床堆积大量新落入水中的枝叶,但需要一定时间的分解以利用底栖生物筑巢	10% ~ 30% 的河床底质适宜底栖生物生存,其空间已经不能满足该点底栖生物群落的正常生存、发展,且底质经常受到侵扰、变动	不到 10% 的河床底质中底栖生物能够生存,其生境破坏十分明显,底质十分不稳定或者基本没有河床底质存在

续表

评价指标 Assessing indicator	自然状态 Natural degree	近自然状态 Near-natural degree	退化自然状态 Degraded natural degree	人工状态 Artificial degree
水文特征 Hydrological characters				
气味 odor	将河水从河道中打出,凑到鼻子下闻,没有味道	将河水从河道中打出,凑到鼻子下闻,感觉微腥	将河水从河道中打出,凑到鼻子下闻,感觉微臭	将河水从河道中打出,凑到鼻子下闻,感觉腥臭
流速多样性 The variety of velocity	河溪内存在天然形成的跌水、急流、缓流等不同流态,流速变化大	河道内天然形成的跌水、急流、缓流明显减少,开始出现人工形成的规则性跌水存在,流速有一定变化	河道内天然形成的跌水、急流、缓流完全消失,仅在部分地区有小规模的跌水存在,流速缓慢且基本一致	河道内无任何形式的跌水、急流、缓流,流速基本为 0
清澈程度 Limpidity degree	河水无色透明,可以存在少量天然杂质,如小型水藻、浮游生物等	河水基本无色,但含有大量泥沙,藻类的数量要大于自然状态,水面上有少量浮萍等浮游植物,仅有不到 10% 的地区被其覆盖	有色轻微浑浊,其中藻类的数量大大增加,10% ~ 30% 水面已经被浮游植物所完全覆盖,并且生长着,可以零星见到一些人为杂质,如塑料袋碎片等	有色浑浊,水中富含厌氧性藻类,超过 30% 水面已经完全被浮游植物所,例如浮萍,水体中含有大量的人为杂质,如塑料袋、泡沫、各种垃圾等
流水的声音 The variety of flowing sound	石头和流水撞击发出的声音,是自然之音,在河溪内,有多种多样的流水声音,在炎热的夏季,当人们听到这种声音就会感到暑意全消,非常愉悦,在很远的地方就能听到,有马上冲到水边的冲动感	虽然受到人类微弱的干扰,但其根本地势地形没有变化,流水也会发出各种声响,但多样性降低,当人们达到该河溪内,会感觉愉悦,但不如听到自然状态河段的流水声那么激动,并且流水声音的传播距离也小于自然状态的河段	受到人类严重的干扰,河道内的流水声上十分微小、单一,人们在此类河段内,不会有太多感官上的愉悦,甚至不会注意到水流的声音,直到人们站在水边,才会感觉到流水的声音	由于河道内水流基本静止,无论远近,人类都无法听到流水的声音,也毫无愉悦感可言

附表 2 定量评价标准

Appendix table 2 The standards of quantitative assessment

地貌特征 Topographical characters				
评价指标 Assessing indicator	自然状态 Natural degree	近自然状态 Near-natural degree	退化自然状态 Degraded natural degree	人工状态 Artificial degree
水体与河床接触情况	0 ≤ 接触点 ≤ 10	11 ≤ 接触点 ≤ 21	22 ≤ 接触点 ≤ 40	接触点 > 40
弯曲度 Curve degree	弯曲度 ≥ 2.5	2 ≤ 弯曲度 < 2.5	1.2 ≤ 弯曲度 < 2	弯曲度 < 1.2
水深 Water depth ratio	深度比 ≥ 3	2.5 ≤ 深度比 < 3	1.2 ≤ 深度比 < 2.5	深度比 < 1.2
水宽 Water width ratio	宽度比 ≥ 4	2.8 ≤ 宽度比 < 4	1.5 ≤ 宽度比 < 2.8	宽度比 < 1.5
河宽 Stream channel width ratio	河宽比 ≥ 2	1.65 ≤ 河宽比 < 2	1.25 ≤ 河宽比 < 1.65	河宽比 < 1.25
水宽与河宽比 The ratio between average water width and stream channel width	0 ≤ 水宽与河宽比 < 0.35	0.35 < 水宽与河宽比 ≤ 0.55	0.55 < 水宽与河宽比 ≤ 0.8	水宽与河宽比 > 0.8
河床底质组成	丰富度	丰富度 ≥ 10	7 ≤ 丰富度 < 10	3 ≤ 丰富度 < 7
多样性	Wiener	W ≥ 2.5	2 ≤ W < 2.5	1.2 ≤ W < 2
	细小颗粒所占比例 F(%)	0 ≤ F ≤ 30	30 < F ≤ 45	45 < F ≤ 70
岸坡坡度(°)	0° ≤ 坡度 ≤ 15°	15° < 坡度 ≤ 30°	30° < 坡度 ≤ 45°	坡度 > 45°
人造水利工程措施的个数	个数为 1 ~ 2 个,但不会影响整个流域水系的连续性,特别是在不在下级水系与上级水系的连接处	个数为 3 ~ 4 个,基本不会影响整个流域水系的连续性,其位置靠近下级水系与上级水系的连接处	个数为 5 ~ 8 个,已经影响整个流域水系的连续性,大部分存在于下级水系与上级水系的连接处	个数大于 9 个,整个流域水系的连续性已经被破坏,下级水系与上级水系已经毫无联系
生态特征 Ecological characters				
缓冲带植被宽度 Riparian zone width	植被宽 ≥ 15m	10m ≤ 植被宽 < 15m	3m ≤ 植被宽 < 10m	植被宽 < 3m

续表

生态特征 Ecological characters

缓冲带植物多样性	Wiener	$W \geq 3$	$2.5 \leq W < 3$	$1.4 \leq W < 2.5$	$W < 1.4$
The riparian vegetation variety	Simpson	$S \geq 0.95$	$0.85 \leq S < 0.95$	$0.65 \leq S < 0.85$	$S < 0.65$
	Pielou	$P \geq 0.95$	$0.85 \leq P < 0.95$	$0.65 \leq P < 0.85$	$P < 0.65$
	丰富度	丰富度 ≥ 15	$10 \leq \text{丰富度} < 15$	$4 \leq \text{丰富度} < 10$	丰富度 < 4
缓冲带结构的完整性		乔灌木三层均为自然生长	乔灌木三层但大部分乔木层为人工种植	乔灌木三层或灌木两层,其中的乔木层和灌木层均为人工种植	只有草本层或缓冲带全部消失
The integrity of riparian structure					
河岸带的通达性					
The number of larger than 10m vegetative disruption reflecting streamside continuum ability		植被缺口个数为 0	$1 \leq \text{植被缺口个数} \leq 2$	$3 \leq \text{植被缺口个数} \leq 5$	植被缺口个数 > 6
有遮蔽水面占水宽比		有遮蔽水面占水宽比 ≥ 0.5	$0.2 \leq \text{有遮蔽水面占水宽比} < 0.5$	$0.05 \leq \text{有遮蔽水面占水宽比} < 0.2$	有遮蔽水面占水宽比 < 0.05
The ratio between shadow water width and water width					
底栖大型无脊椎动物	S	$S \geq 15$	$10 \leq S < 15$	$3 \leq S < 10$	$S < 3$
The variety of large-sized benthic invertebrate	J	$J \geq 0.85$	$0.65 \leq J < 0.85$	$0.3 \leq J < 0.65$	$J < 0.3$
	H'	$H' \geq 1.8$	$1.5 \leq H' < 1.8$	$0.6 \leq H' < 1.5$	$H' < 0.6$
	D	$D \geq 1.5$	$0.8 \leq D < 1.5$	$0.2 \leq D < 0.8$	$D < 0.2$
水文特征 Hydrological characters					
流速 Velocity ratio		流速比 ≥ 3.5	$2.5 \leq \text{流速比} < 3.5$	$1.2 \leq \text{流速比} < 2.5$	流速比 < 1.2
水温 Water temperature		$1 \leq \text{水温比} < 1.1$	$1.2 < \text{水温比} \leq 1.1$	$1.4 < \text{水温比} \leq 1.2$	水温比 > 1.4
清澈度 Limpidity degree		分辨出第Ⅲ等级色条,并分辨出色块	分辨出第Ⅲ等级色条,但无法分辨出色块	分辨出第Ⅱ等级色条	分辨出第Ⅰ等级色条
酸碱值 pH value		$7.5 \geq \text{pH} \geq 6.5$	$6.4 \geq \text{pH} \geq 6.0$ 或 $8.0 \geq \text{pH} \geq 7.6$	$5.9 \geq \text{pH} \geq 4.5$ 或 $9.4 \geq \text{pH} \geq 8.1$	$\text{pH} \geq 9.5$ 或 $4.5 \geq \text{pH}$
溶解氧 Dissolved oxygen (DO)		$\text{DO} \geq 4.5$	$4 \leq \text{DO} < 4.5$	$3 \leq \text{DO} < 4$	$\text{DO} < 3$
总氮氮 $\text{NH}_3\text{-N}$		$0 \leq \text{NH}_3\text{-N} \leq 0.1$	$0.1 < \text{NH}_3\text{-N} \leq 0.15$	$0.15 < \text{NH}_3\text{-N} \leq 0.25$	$\text{NH}_3\text{-N} > 0.25$
Total ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$)					
磷酸盐 TPPosphate (TP)		$0 \leq \text{TP} \leq 0.01$	$0.01 < \text{TP} \leq 0.025$	$0.05 < \text{TP} \leq 0.025$	$\text{TP} > 0.05$